

separation // The CRC Handbook of Solid State Electrochemistry, Gellings P.J., Bouwmeester H.J.M. (Eds.). Boca Raton: CRC Press, 1997. – PP.481-553. 2. Diethelm S., Sfeir J., Clemens F., Van herle J., Favrat D. Planar and tubular perovskite-type membrane reactors for the partial oxidation of methane to syngas. . Journal of Solid State Electrochemistry. –2004. – 8. – PP.611-617. 3. Balachandran U., Ma B. Mixed-conducting dense ceramic membranes for air separation and natural gas conversion. Journal of Solid State Electrochemistry. – 2006. – 10. – PP.617-624. 4. Lein H. L. Mechanical properties and phase stability of oxygen permeable membranes $\text{La}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$. – Ph.D Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim. – 2005. 5. Zolotarevsky A., Kühhorn A. Constitutive and numerical modeling of chemical and mechanical phenomena in solid oxide fuel cells and oxygen permeable membranes // Вісник НТУ “ХПІ”. Тем. вип. “Машиноведение и САПР”. – 2007. – № 23. – С.128-139. 6. Crank J. The Mathematics of Diffusion. Second Edition. – Oxford: Oxford University Press, 1999. 7. Карпелю Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел, пер. с англ. – М.: Наука, 1964. – 488 с.

Поступила в редколлегию 02.10.09

УДК 621.87

О.С. ПОДОЛЯК, ст. викладач каф. „Металоріжуче обладнання і транспортні системи”; **Л.А. РОДІОНОВ**, канд. техн. наук, доц. каф. „Металоріжуче обладнання і транспортні системи”; **А.О. ПАВЛОВА**, канд. техн. наук, доц. каф. „Теорія і управління якістю машин”, Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГАСІННЯ КОЛИВАНЬ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ СТІЛІВІХ КРАНІВ

В статті побудовані динамічна і математична моделі механізму підйому стрілового крана з урахуванням демпфера в'язкого тертя з пружним зв'язком, а також зовнішньої сили приводу. Знайдені коефіцієнти диференціальних рівнянь руху системи.

In the article the dynamic and mathematical models of hoisting mechanism of jib crane with taking into account the damper of viscous friction with spring linkage and external force of a drive are built. The coefficients of differential equation of system movement are found.

Актуальність роботи. Під час експлуатації стрілових кранів при роботі механізму підйому вантажу виникають динамічні навантаження, які носять коливальний характер. При підйомі вантажу з жорсткої основи «з підхватом» амплітуда коливань значно підвищується, а коефіцієнт динамічності знаходиться в межах 1,8-2 [2]. Це приводить до зменшення втомлювальної міцності металоконструкції і погіршує умови праці машиніста крана.

Огляд опублікованої літератури. Проблемі зниження динамічних навантажень на металоконструкцію вантажопідйомних машин присвячено багато досліджень [1-3]. З огляду опублікованої літератури видно, що ефективним способом боротьби з динамічними коливаннями є установка демпфера в'язкого тертя з пружним зв'язком [1].

Мета статті. Метою роботи є побудова динамічної і математичної моделі механізму підйому стрілового крана з урахуванням гідравлічного демпфера.

Динамічна й математична моделі крана. Для побудови динамічної і математичної моделі необхідно детально розглянути схему стрілової системи (рис. 1) і схему запасавання канатів обраного крана (рис. 2). Стрілова система

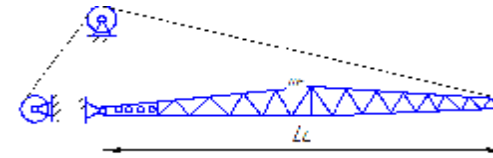


Рис. 1. Схема стрілової системи крана

стріли.

Дослідження показали, що при вивченні динамічних навантажень, які сприймаються металоконструкцією крана і вантажними канатами, аналізі спільного впливу різних параметрів крана на характер протікання перехідних процесів, а також при рішенні багатьох інших завдань стрілові крани, з достатньою для інженерних робіт точністю, можуть бути представлені у вигляді трьохмасової двохзв'язної динамічної моделі [2] (рис. 3). Маса стріли крана представлена у вигляді наведеної зосередженої маси m_c , з'єднаної пружно – в'язким зв'язком, який характеризується коефіцієнтами жорсткості стріли c_c і стрілового каната c_p , а також демпфірування d_{pc} металоконструкції, та ϑ_c гідравлічного тертя демпфера.

Відомо, що максимальні динамічні навантаження в кранах виникають при підйомі вантажу із жорсткої основи (підйом з підхватом), що включає три етапи: перший – етап холостого ходу, коли маса обертових частин приводу m_n під впливом сили при-

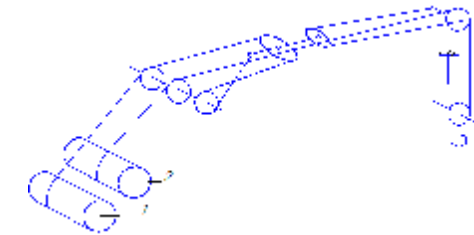


Рис. 2. Схема запасавання канатів:

- 1 – барабан стрілової лебідки;
- 2 – барабан вантажної лебідки

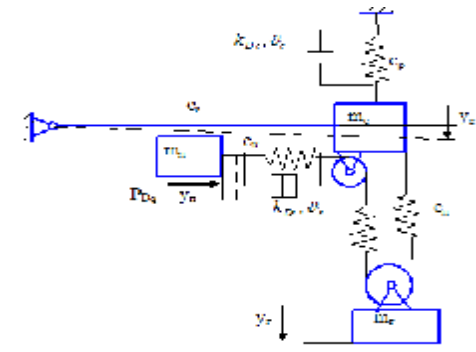


Рис. 3. Трьохмасова модель стрілового крана при підйомі вантажу із жорсткої основи

воду P_{Dq} вибирає сумарний зазор Δ_k у канатах і приводі; другий етап – розвиток навантаження в канатах до зусилля в них, рівному вазі вантажу Q , причому маса m_r протягом другого етапу перебуває в стані спокою; третій етап – спільний рух всіх пружно зв'язаних мас системи.

На першому етапі вибирається зазор Δ_k у канатах і приводі, а динамічні навантаження в металоконструкції і у канатах відсутні.

Другий етап руху описується рівняннями

$$\begin{aligned} m_n \cdot \frac{d^2 y_n}{dt^2} + P_{K2} - P_{Dq} &= 0; \\ m_c \cdot \frac{d^2 y_c}{dt^2} - P_{K2} + (k_{Dc} + \vartheta_c) \cdot \frac{dy_c}{dt} + c_c \cdot y_c &= 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Закінчується другий етап руху при натягу вантажних канатів

$$P_{K2} = c_r (y_n - y_c) + (k_{Dr} + J_r) \cdot (\dot{y}_n - \dot{y}_c) = Q.$$

Третій етап руху описується рівняннями:

$$\begin{aligned} m_n \cdot \frac{d^2 y_n}{dt^2} + P_{K3} - P_{Dq} &= 0, \\ m_c \cdot \frac{d^2 y_c}{dt^2} - P_{K3} + (k_{Dc} + \vartheta_c) \cdot \frac{dy_c}{dt} + c_c \cdot y_c &= 0, \\ m_r \cdot \frac{d^2 y_r}{dt^2} - P_{K3} + m_r \cdot g &= 0, \end{aligned} \quad (2)$$

де $P_{K3} = c_r (y_n - y_c - y_r) + (k_{Dr} + \vartheta_r) \cdot (\dot{y}_n - \dot{y}_c - \dot{y}_r)$ – натяг у канатах на третьому етапі руху.

Тут m_n – наведена до канатів маса обертових частин приводу підйому вантажу, кг; m_c – наведена маса стріли, кг; m_r – маса вантажу, кг; c_r – коефіцієнт жорсткості вантажних канатів, Н/м; c_c – коефіцієнт жорсткості стріли крана, Н/м; c_p – коефіцієнт жорсткості стрілового каната, Н/м; c_k – коефіцієнт жорсткості вантажного каната на ділянці від барабана до поліспа-ста, Н/м; c_n – коефіцієнт жорсткості вантажного поліспа-ста, Н/м; k_{Dc} – коефіцієнт загасання коливань (демпфірування) металоконструкції, Н·с/м; k_{Dr} – коефіцієнт загасання коливань (демпфірування) канатів, Н·с/м; ϑ_c, ϑ_r – коефіцієнти гідравлічного тертя демпферів у стріловій системі і системі підвіски вантажу; P_{Dq} – наведена до канатів сила двигуна, Н; y_n, y_c, y_r – шляхи, пройдені відповідно масами m_n, m_c, m_r від початку координат.

Розрахунок коефіцієнтів диференціальних рівнянь руху виконаємо аналогічно розрахунку, наведеному в роботі [5].

Введення в математичну модель наведеної сили приводу. Деякі моделі стрілових самохідних кранів, обладнаних механічним приводом, приводяться в дію безпосередньо від силової установки через коробку відбору потужності. Наведена до канатів сила двигуна може бути визначена по формулі [4]:

$$P_{Dq} = \eta \cdot \frac{u_M}{r_o} \cdot M_k = \eta \cdot \frac{u_M}{r_o} \cdot (a \cdot \dot{y}_n^2 + b \cdot \dot{y}_n + c) \quad (3)$$

Для побудови механічних характеристик двигуна необхідно знайти ряд параметрів, без яких така побудова неможлива. Всі обчислення й побудова графіка (рис. 4) були проведені на ЕОМ.

$$\begin{aligned} a &= -\frac{M_{k \max} - M_{kN}}{(w_M - w_N)^2}, b = \frac{2 \cdot (M_{k \max} - M_{kN}) \cdot w_M}{(w_M - w_N)^2}, \\ c &= M_{k \max} - \frac{(M_{k \max} - M_{kN}) \cdot w_M^2}{(w_M - w_N)^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Тут $M_{k \max}$ – максимальний крутний момент, що розвиває двигун; $M_{kN} = 9550(N_{e \max} / \omega_N)$ – крутний момент двигуна, відповідний максимальній потужності; ω_M – кутова швидкість, відповідна максимальному крутному мо-

менту двигуна; ω_N – кутова швидкість, відповідна максимальній потужності двигуна.

Вище розглянуте визначення коефіцієнтів a, b і c , необхідних для побудови зовнішньої механічної характеристики приводу (рис. 4). Для

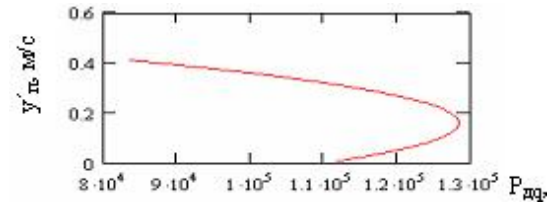


Рис. 4. Наведена до канатів сила двигуна стрілового крана

дослідження впливу зовнішньої механічної характеристики двигуна на динамічні навантаження розглянутої моделі досить змінити початкові умови і по формулах (4) перерахувати коефіцієнти a, b і c .

Висновки. Рішення отриманих диференціальних рівнянь дозволить визначити динамічні навантаження в механізмі підйому автомобільного крана

при підйомі вантажу із жорсткої основи з урахуванням зовнішньої сили приводу і демпферів з пружно-в'язким зв'язком.

Список літератури: 1. Семенюк В.Ф., Марцинкевич А.П. Математическая модель процесса гашения колебаний металлоконструкции козлового крана // Підвищення ефективності технології та техніки для виконання вантажно-розвантажувальних, будівельних і колійних робіт на залізничному транспорті. – Харків: ХарДАЗТУ, 1999. – №36. – С.3-11. 2. Будиков Л.Я. Многопараметрический анализ динамики грузоподъемных кранов мостового типа: Монографія. – Луганськ: Вид-во СХУ ім. В. Даля, вид. 2-е, 2003. – 210 с. 3. Демідас С.В. Мінімізація динамічних навантажень в елементах баштового крана на основі оптимізації режиму руху механізму підйому: Дис. канд. техн. наук. – Київ, 2000. – 193 с. 4. Солтус А.П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: Київ: Арістей, 2006. – 175 с. 5. Подоляк О.С. Исследование динамических нагрузок при подъеме груза с жесткого основания автомобильным краном // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків, 2009. – № 1/5 (37). – С.43-47.

Поступила в редколлегию 25.09.2009

УДК 623.438:539.3

Ю.Д. СЕРДЮК, гл. инж., Головной специализированный конструкторско-технологический институт, ОАО «Азовмаш», г. Мариуполь,
Н.А. ТКАЧУК, докт. техн. наук, проф., зав. каф. ТММиСАПР НТУ «ХПИ»,
Н.А. ДЕМИНА, Государственный Таврический агротехнологический университет, г. Мелитополь

ОБЩИЙ ПОДХОД К КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТОЙКОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВ

У статті описаний новий підхід до конструктивно-технологічного забезпечення стійкості елементів штампів шляхом обґрунтування параметрів та властивостей матеріалів на основі аналізу їхнього напружено-деформованого стану. Крім того, досліджується якість відштампованих деталей та вплив на неї конструктивно-технологічних параметрів штампів.

In the paper the new approach is described to structurally technological support of durability of stamps elements by the ground of parameters and properties of materials on the basis of their stressed and deformed state. Quality of stamped details and influence on it structurally technological parameters of stamps are researched in addition.

Введение. Штамповка деталей из листового материала является одним из самых эффективных технологий в современном машиностроении. По своей природе она обеспечивает изготовление деталей самой широкой номенклатуры как по толщинам, так и по форме в плане. Кроме того, ее применение дает возможность при соответствующей конструктивно-технологической проработке получать штамповкой не только заготовку, но и готовое изделие. При этом в современных условиях существенно расширился спектр материалов, подвергающихся листовой штамповке, – от бумаги до высоколегированных сталей.

Все отмеченные факторы и тенденции определяют потенциально широчайшие области применения штампов для холоднолистовой штамповки в данное

время и на перспективу. Кроме того, помимо технологического фактора, широко использованию штампов способствует и экономическая эффективность применения штамповой оснастки, возможность обеспечения высокой производительности, а также естественная приспособленность к автоматизации процесса штамповки. Дополнительным и очень существенным фактором при проектировании, изготовлении и эксплуатации штампов в последнее время выступает стандартизация и унификация их основных элементов, а также широкое внедрение обратимой штамповой оснастки [1-3].

В то же время расширение области применения штамповки сдерживается проблемами обеспечения стойкости, прочности, жесткости элементов штампов, а также качества отштампованных деталей. Традиционный подход к конструктивно-технологическому решению данных проблем [4-6] потребовал в свое время существенного развития [7-9]. Однако в этих работах был преимущественно задействован классический математический аппарат для линейных расчетных моделей. Данный недостаток был частично устранен в работах [10-12], в которых предложен новый подход, опирающийся на самые современные методы математического моделирования процессов, происходящих при штамповке, с учетом целого спектра нелинейностей, в т.ч. физической, геометрической, структурной и конструктивной. В частности, в статье [12] описана комплексная многоуровневая математическая модель для анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов штамповой оснастки (ЭШО), сочетающая традиционные подходы (1-й уровень), модель, учитывающая контактное взаимодействие (2-й уровень), и наиболее общую модель для исследования в комплексе всех процессов и состояний при холоднолистовой штамповке (3-й уровень).

Для решения проблем, обозначенных в статье, в наибольшей степени подходит как раз подход, описанный в [12]. Однако он требует существенной доработки, связанной со спецификой решаемой задачи, а именно обеспечения возможности многовариантных исследований НДС элементов штамповой оснастки и штампуемого материала на всех стадиях штамповки при различных сочетаниях конструктивных и технологических параметров, дополненных возможностью встраивания задачи анализа в процесс целенаправленного варьирования структуры и параметров штамповой оснастки.

Таким образом, возникает актуальная и важная задача: совершенствование методов расчета ЭШО по критериям обеспечения стойкости и прочности элементов штампов, а также качества штампуемых деталей, на основе развития методов моделирования физико-механических процессов и состояний, сопровождающих процесс штамповки. Решение этой задачи и описывается в работе.

1. Расчетные схемы технологической системы «штамп – заготовка». Рассмотрим в качестве примера вырубные штампы, основными и наиболее нагруженными

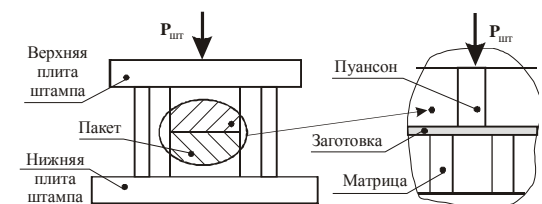


Рис. 1. Наиболее нагруженные элементы вырубных штампов